

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra Mechanické Technologie

Galvanicky vyloučené slitinové povlaky Zn-Ni a Zn-Fe;
konverzní úpravy těchto povlaků

Galvanic Outcast Alloyed Coatings Zn-Ni and Zn-Fe;
Converse Adjustment These Coatings

Student:

Jan Rekšák

Vedoucí bakalářská práce:

doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2010

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠBTUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠBTUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBTUO.
- bylo sjednáno, že s VŠBTUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠBTUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠBTUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....20.5.2010



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Rekšák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

17. LISTOPADU 1, ZÁBŘEH NA MORAVĚ

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

REKŠÁK, J. Galvanicky vyloučené slitinové povlaky Zn-Ni a Zn-Fe; konverzní úpravy těchto povlaků. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB –Technická univerzita Ostrava, 2010, 40 s., Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Bakalářská práce se zabývá ověřením mechanických vlastností galvanických slitinových zinkových povlaků vyloučených z lázní v podniku MEP Galvanovna, a.s. V teoretické části se zabývám principy vylučování kovů z galvanických lázní. Dále charakterizují jednotlivé typy Zn lázní včetně konverzních úprav. Experimentální část je rozdělena do dvou základních celků. První se zaměřením na abrazivzdornost povlaku a druhá na jeho korozní odolnost.

THESIS ANNOTATION

REKŠÁK, J. Galvanic Outcast Alloyed Coatings Zn-Ni and Zn-Fe; Converse Adjustment These Coatings. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 40 s., Head: František Kristofory, Prof. Assoc. PhD MSc.

The thesis deals with atestation of Mechanical Quality Galvanic Alloyed Zinc Coatings Outcast from Zn Watering – Placed in a Company MEP Galvanovna, as. In Theoretically, I am dealing with principles Precipitation metal from plating Baths. I devone next Types of Zn Baths cum Converse Adjustment. Experiment Part is Separation in two Basic Parts. First with intention of mechanical ruggedness and second with intention of corrosion durability.

Seznam použitých zkratk

Ae - elektrochemický ekvivalent	[Ah]
Av - molekulová nebo atomová hmotnost.....	[-]
M - mocenství	[-]
F - Faradayovo číslo	[-]
G - hmotnost vyloučeného kovu	[g]
i - intenzita el. proudu	[A]
t - doba elektrolýzy	[h]
r - proudový výtěžek	[%]
s - měrná hmotnost vylouč. kovu.....	[g/cm ³]
S-povrch předmětu.....	[dm ²]
E -odporová polarizace.....	[V]
I - pokovovací proud.....	[A]
R - ohmický odpor elektrolytu.....	[W]
vn -nukleární rychlost	[-]
vr - krystalizační rychlost.....	[-]
kyselost.....	[pH]
l-délka.....	[mm]
p-tlak.....	[N]
počet oběhů kuličky-N.....	[-]
h - hloubka otěru.....	[mm]
D - průměr kuličky	[mm]
h - hloubka otěru.....	[μm]
L -průměr kuličky (délka tětiny).....	[mm]
korozní odolnost.....	[h]
t-teplota.....	[°C]

Obsah

Seznam použitých zkratek	5
Úvod.....	7
1 Výrobní program galvanovny	8
2 Galvanické lázně Zn-Ni a Zn-Fe	10
2.1 Základní principy elektrolytického vylučování kovů	10
2.2 Faradayovy zákony	11
2.3 Fyzikální děje probíhající při galvanickém pokovování.....	13
3 Galvanické lázně Zn-Ni a Zn-Fe	14
3.1 Galvanické zinkování a typy lázní.....	14
3.1.1 Alkalické kyanidové lázně.....	14
3.1.2 Alkalické nekyanidové lázně	14
3.1.3 Slabě kyselé lázně.....	15
3.1.4 Slitínové zinkovací lázně	15
3.2 Konverzní úpravy zinkových povlaků.....	16
3.2.1 Chromátování.....	16
3.2.2 Fosfátování.....	17
3.3 Galvanická lázeň Zn-Ni	17
3.4 Galvanická lázeň Zn-Fe	18
3.5 Vlastnosti povlaků	18
4 Návrh prováděných zkoušek a metodiky zkoušení.....	20
4.1 Návrh metodiky zkoušení	20
4.1.1 Zkušební vzorky a druhy povlaků	20
4.1.2 Specifikace přípravy vzorků	21
4.1.3 Technologický postup slitinových zinkových povlaků	23
4.1.4 Charakteristika přístroje pro zkoušku odolnosti proti opotřebení	24
4.1.5 Zkouška odolnosti proti abrazivnímu opotřebení	25
4.1.6 Stanovení tloušťky povlaku	27
4.1.7 Zkouška korozní odolnosti.....	27
4.2 Výsledky experimentu	28
4.2.1 Odolnost proti opotřebení	28
4.2.2 Tloušťka povlaku	33
4.2.3 Korozní odolnost v solné mlze	36
5 Vyhodnocování výsledků a závěr	40
6 Seznam použité literatury	41

Úvod

Bakalářskou práci jsem zpracovával na základě požadavků firmy MEP Postřelmov, a.s. MEZ Postřelmov dnes již MEP Postřelmov, a.s. je jeden z nejstarších podniků s elektrotechnickou výrobou v regionu Severní Moravy. Už od roku 1931 se v podniku vyrábějí elektrotechnické přístroje, který byl založen panem J. Wágnerem z Olomouce zaměřeným na výrobu přístrojů nízkého napětí, elektrických motorových spouštěčů, odporníků a signálního osvětlení pro letiště a železnice. Mezi roky 1939 až 1945 patřil závod firmě Metzenauer & Jung z Wuppertalu. Výroba nízkonapěťových přístrojů pro armádu. Do roku 1947 byl podnik začleněn do Moravských elektrotechnických závodů. Založení národního podniku Mez Postřelmov se začleněním Závodu Zábřeh. V 50. a 60. letech kdy byl největší rozvoj, začala výstavba základního a pobočného závodu v Zábřeze, vybudováním slévárny a galvanovny. Podnik se tak stal důležitým v tehdejší Československé republice. [1]

V současné době tvoří hlavní produkci společnosti výroba elektrických přístrojů a rozvaděčů pro oblast elektrické dopravy, energetiky a strojírenství. Podnik dále vyrábí strojírenské díly a sestavy, odlitky z hliníkových slitin a provádí povrchové úpravy kovů(od ledna 2003 provádí výrobu odlitků z hliníkových slitin dceřinná společnost MEP Slévárna, a.s. a povrchové úpravy kovů dceřinná společnost MEP Galvanovna, a.s.). Podnik si zajišťuje sám technický provoz strojního a technologického zařízení, budov a energetického hospodářství. [1]

Před nedávnem došlo v galvanovně k zásadním změnám a to hlavně k pozitivním v rozsahu provozovaných technologií vzhledem k ochraně životního prostředí. Asi za nejvýznamnější změnu lze považovat přechod od kyanidového zinkování na bezkyanidové zinkování. A dále ukončení kadmiování a chromování. Z pohledu ochrany zdraví člověka a ochrany životního prostředí lze tyto změny hodnotit velice přívětivě.[2]

1 Výrobní program galvanovny

V MEP Galvanovna, a.s. se provádí tyto povrchové úpravy: [2]

- **ZINKOVÁNÍ**

- kyselé závěsové zinkování, chromát modrý nebo žlutý, utěšňovací transparentní lak alkalické závěsové slitinové zinkování s legurou niklu a s legurou železa, chromát černý speciál, chromát transparentní speciál, utěšňovací akrylátový nebo silikátový transparentní lak alkalické závěsové zinkování, chromát modrý bez obsahu trojmocného chromu (slabá pasivace) nebo náhrada žlutého chromátu bez obsahu šestimocného chromu (silná pasivace), utěšňovací transparentní silikátový lak, olivové chromátování;

- **FOSFÁTOVÁNÍ**

-závěsové, hromadné, jemné, hrubé, manganové, speciální fosfátování železa v kombinaci s pryží;

- **MĚDĚNÍ**

- alkalické kyanidové, závěsové, hromadné;

- **NIKLOVÁNÍ**

- závěsové, hromadné (elektrolytické);

- **CÍNOVÁNÍ**

-pro potravinářský průmysl, závěsové, hromadné;

- **STŘÍBŘENÍ**

- kyanidové, závěsové, hromadné;

- **CHEMICKÁ OXIDACE**

- hliníku a jeho slitin;

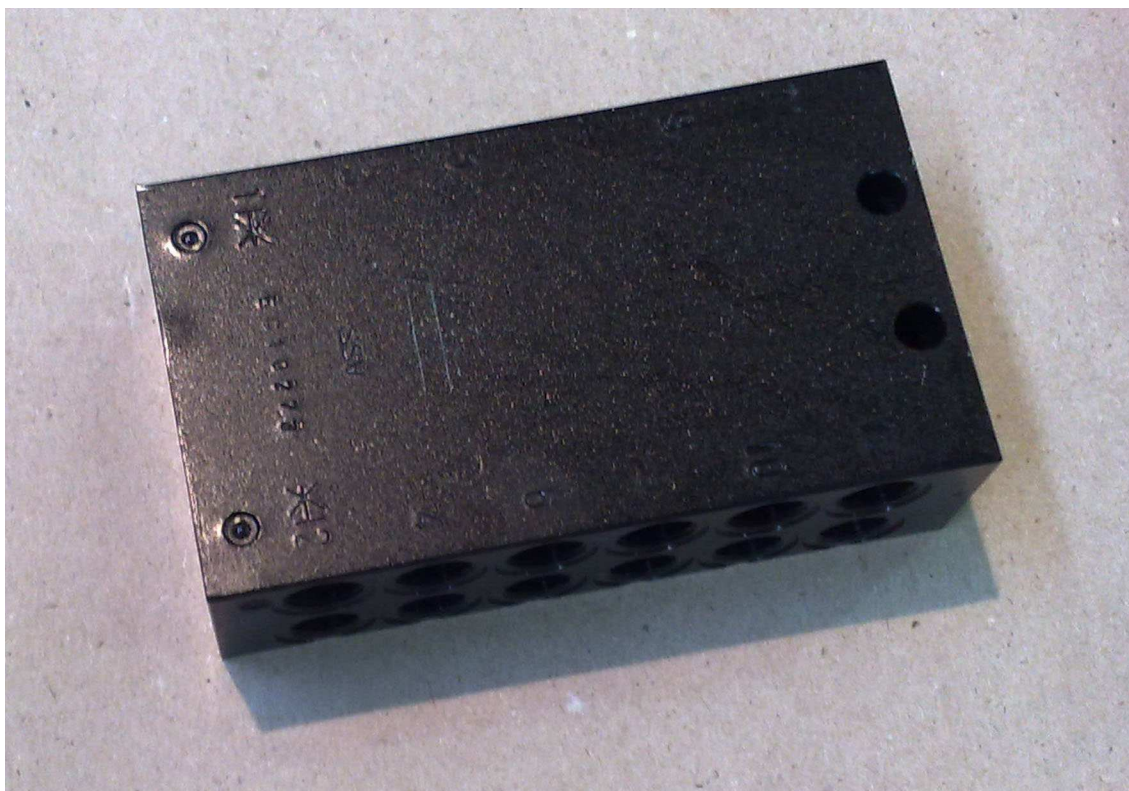
- **ČERNĚNÍ**

-železa a oceli;

- **MOŘENÍ NEREZI**



Obr.1 Linka pro slitinovou lázeň Zn-Ni

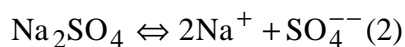


Obr.2 Ukázka hotového výrobku slitinovým zinkováním Zn-Fe

2 Galvanické lázně Zn-Ni a Zn-Fe

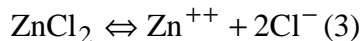
2.1 Základní principy elektrolytického vylučování kovů

Aplikovaná elektrochemie vysvětluje základy galvanického vylučování kovů. Pochody ve vodních roztocích solí lze vysvětlit jako mechanismus elektrolytického vylučování kovů. Rozpouštěním anorganických solí ve vodě se zruší krystalová mřížka těchto solí a nastává elektrolytická disociace, tj. vzniknou ionty, které se počnou volně pohybovat



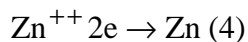
Kladně nabité ionty mají nedostatek elektronů, záporné ionty uvolněné elektrolytickou disociací nesou přebytečné elektrony. Ionty solí nesoucí elektrický náboj rozpouštěných ve vodním roztoku dovolují, aby tento roztok vedl elektrický proud. Do roztoku lze zavést stejnosměrný proud dvěma elektrodami. Jedna má záporný náboj a nazývá se katoda, druhá má kladný náboj a nazývá se anoda. Ionty rozpouštěné soli se po zavedení stejnosměrného proudu v roztoku pohybují podle zákonů elektrostatické přitažlivosti. Kladně nabité ionty (kationty) jsou přitahovány k záporné elektrodě, záporně nabité (anionty) ke kladně nabitě elektrodě. Na katodě se kladně nabitě kationty spojují s elektrony katody, vzniká elektro neutrální látka, nebo kationt nižšího mocenství (dochází k redukci kationů). Záporně nabitě anionty předávají své přebytečné elektrony kladně nabitě anodě, vzniká rovněž elektro neutrální látka nebo aniont vyššího mocenství. Těmto procesům se souhrnně říká elektrolýza. Např. v soli chloridu zinečnatého při elektrolýze probíhají tyto reakce: [3]

disociace soli ve vodním roztoku

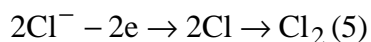


pochody při elektrolýze:

na katodě:



na anodě:

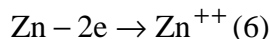


Důležité je z hlediska galvanického vylučování kovů, že na katodě (záporně nabitě elektrodě) se začne vylučovat kovový zinek. Pokud by byl v roztoku ZnCl_2 , potud by probíhala elektrolýza. V galvanické praxi se tohoto případu využívá jen zřídka a používá se

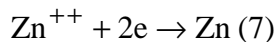
Bakalářská práce

tzv. rozpustných anod. Na anodě kladně nabitě částice kovu se na katodě vylučují jako čistý kov.[3]

na anodě probíhá reakce:



na katodě probíhá reakce:



Jsou-li v roztoku rozpuštěny soli několika kovů, zprvu se vylučuje kov s nejkvalitnějším potenciálem a potom kovy s méně ušlechtilými potenciály. Z vodních roztoků by tedy bylo možno teoreticky vylučovat pouze kovy ušlechtilejší než je vodík (Cu, Ag, Pt apod.), ale prakticky tomu tak není, protože potenciály, při nichž se ve skutečnosti vodík na jednotlivých kovech vylučuje jsou mnohem zápornější, než je teoreticky nulový potenciál vodíku. Rozdíl mezi skutečným potenciálem vylučování a teoretickým vodíkovým potenciálem se nazývá vodíkové přepětí. Na jednotlivých kovech se hodnoty vodíkového přepětí liší, na většině vylučovaných kovů jsou tak negativní, že umožňují aby se kov vylučoval na katodě. Pro různá prostředí jsou potenciály vylučování jednotlivých kovů rozdílné, i vzájemné vztahy mezi potenciály kovů a přepětím vodíku budou rozdílné.[3]

Mohou nastat tyto případy:

1. z roztoku se bude vylučovat pouze vodík (pro galvanické pokovování nepoužitelné)
2. z roztoku se vylučuje jen kov (z hlediska galvanotechniky nejideálnější, avšak v praxi těžko dosažitelné)
3. z roztoku se vylučuje kov i vodík (v praxi nejčastější případ)[3]

2.2 Faradayovy zákony

Jako první se kvantitativní stránkou elektrolýzy zabýval M. Faraday při rozkládání vodních roztoků elektrickým proudem. Objasnil, že při elektrolýze platí přesné vztahy mezi množstvím el. proudu prošlého roztokem a mezi množstvím přeměněné látky.

Množství různých látek vyloučených na elektrodách stejným elektrickým množstvím jsou přímo úměrné jejich chemickým ekvivalentům. Faraday objevil, že k vyloučení, příp. rozpuštění 1 gramekvivalentu je zapotřebí 96 487 Coulombů. Toto množství el. náboje nazýváme 1 Faraday. [3]

Obecně platí:

Bakalářská práce

$$A_e = \frac{A_v}{M \times F} \quad (8)$$

A_e -elektrochemický ekvivalent

A_v -atomová a molekulová hmotnost

M -mocenství

$$F\text{-Faradayovo číslo} \quad 26,8\text{Ah} = \frac{96487}{3600}$$

Při většině galvanických procesech se na katodě vylučuje kov a vodík a na anodě se rozpouští kov a vylučuje se kyslík. Při pokovování nás zajímá především množství el. proudu, které se využije přímo na rozpouštění kovů a ne na průvodní jevy, jako je vylučování plynů a zahřívání lázně procházejícím proudem, zavádíme termín proudový výtěžek lázně. Jde-li o katodický děj, pak [3]

$$\text{katodický výtěžek v \%} = \frac{\text{skut.množs.vylouč.kov.}}{\text{množs.vypočy.dle.prošlých.Ah}} \times 100 \quad (9)$$

stejně se vypočte anodický proudový výtěžek

Při lišících galvanických procesech kolísá katodický proudový výtěžek od několika procent do 100%. Např. při chromování je v rozmezí 8-25%, při niklování 88-95%, při mědění v kyselé lázni až 100%. Hodnoty anodického proudového výtěžku se pohybují mezi 70-100%. Známe-li katodický a anodický proudový výtěžek, můžeme vypočítat hmotnost kovu v gramech, který se při určité proudové intenzitě vyloučí nebo rozpustí za určitou dobu a můžeme pak prakticky využít Faradayovy zákony, které lze vyjádřit vztahem: [3]

$$G = A_e \times i \times t \times r \quad (10)$$

G -hmotnost vyloučeného kovu [g]

A_e -elektrochemický ekvivalent [Ah]

i -intenzita el. proudu [A]

t -doba elektrolýzy[h]

r -proudový výtěžek[%]

Vyjádříme-li hmotnost vyloučeného kovu G jako součin

$$G = s \times S \times h \quad (11)$$

s -měrná hmotnost vylouč. kovu[g/cm³]

$$S\text{-povrch předmětu[dm}^2] \quad h = \frac{A_e \times i \times t \times r}{P \times s \times 1000} \quad (12)$$

h -tloušťka povlaku[mm]

nyní můžeme vypočítat povlaku h , který se vyloučí podle vztahu [3]

2.3 Fyzikální děje probíhající při galvanickém pokovování

Galvanické vylučování kovů el.energií je na katodě krystalický proces. Tento proces dělíme: [3]

- 1) vytváření krystalizačních zárodků
- 2) krystalizační rychlost, která řídí růst krystalizačních nukleí

Kvalita nukleí je závislá na tvorbě a jejich rozmístění. První zárodky vznikají na aktivních centrech, jsou to výčnělky geometrické mikronerovnosti povrchu, na trhlkách apod. Proces krystalizace při tvorbě povlaku můžeme rozdělit galvanické povlaky na 3 skupiny: [3]

- 1) povlaky s lineární rychlostí krystalizace
- 2) povlaky krystalickými dvojčaty
- 3) povlaky s omezeným růstem krystalů

Pospolitost kovového povlaku s podkladovým kovem. Při galvanickém pokovování probíhá krystalizační proces na bázi krystalické stavby podkladového kovu, která ovlivňuje stavbu galvanického povlaku i jeho pospolitost. Podle vlastností strukturní mřížky podkladového kovu a mřížky galvanicky aplikovaného kovu rozdělujeme na dva druhy vazeb povlaku na základní kov: [3]

- 1) koherentní
- 2) slitinový

Krystalizační zárodky můžeme rozdělit:

- a) jednorozměrné(hranové)
- b) dvojrozměrné(plošné zárodky)
- c) trojrozměrné(prostorové zárodky)

Vlastnosti kovů vzniklých metalurgickou cestou se odlišují od fyzikálních vlastností kovových povlaků. [3]

Polarizace elektrod. Z pohledu akce a reakce je polarizace odpor systému elektroda-elektrolyt vzhledem k probíhajícímu elektrochemickému pochodu. Lze ji rozdělit na jednotlivé složky, které sečítáme:

- koncentrační polarizace
- odporová polarizace
- chemická polarizace

3 Galvanické lázně Zn-Ni a Zn-Fe

3.1 Galvanické zinkování a typy lázní

Za posledních 30 let prošlo galvanické zinkování progresivním rozvojem. V minulých desetiletích se používalo v lázních nebezpečných jedů a kyanidů, ale již dnes se některé tyto látky nesmějí používat. Přejít na alkalické nekyanidové a slabě kyselé lázně.

Využíváme tři základní typy zinkovacích lázní alkalické kyanidové lázně, alkalické nekyanidové lázně, slabě kyselé lázně a slitinové zinkovací lázně. [4]

3.1.1 Alkalické kyanidové lázně

Kyanidové lázně obsahují hydroxyzinečnatany a kyanozinečnatany. Tyto lázně se dále dělí na klasické, středně kyanidové, nízkokyanidové. Pro kompenzování úbytku komplexních kyanidů se používá systému leskutvorných přísad s komplexotvornými účinky. Tyto přísady přebírají funkci kyanidů. Povlaky mají vysokou přilnavost. V lázni je možno používat nerozpustných anod a regulovat koncentraci zinku nebo používat pomocné anody. Největší nevýhodou, která vedla k jejich nahrazení, je ekologická nebezpečnost kyanidů a především likvidace odpadních vod. Mezi další nevýhody patří navodíkování základního materiálu. Tyto kyanidové lázně se používají už jen sporadicky. [4]

3.1.2 Alkalické nekyanidové lázně

V první generace těchto lázní se objevila v roce 1965. Spojité povlaky se u zinečnatanových lázní se vylučují jen díky přítomnosti dalších komplexotvorných látek. Dříve se v lázních používaly polyaminy, ale problém byl při likvidování odpadních vod. Používá se leskutvorných přísad pro velmi lesklé zinkové povlaky. Používají se deriváty kyselin nebo ketony. Lázně se používají se systémem leskutvorných přísad, který dodává povlaku lesk a zobrazivost. Lázně se vyznačují dobrou krycí schopností, ale malou hloubkovou účinností. Proudové hodnoty jsou také malé. K výhodám této technologie patří relativně snadná a nenákladná likvidace odpadních vod. Je třeba dodržovat míchání odpadních vod s jinými vodami s obsahem těžkých kovů. K nevýhodám této lázně patří

pasivace anod při překročení anodové proudové hustoty, především to platí pro hromadné pokovení ve zvonu. Povlaky nové generace jsou lesklé v široké škále použitelných proudových hustot. K nevýhodám patří nižší vylučovací rychlost, slabší mechanické vlastnosti a malá teplotní odolnost lázní. Při vyšších proudových hustotách vyvolání navodňování základního materiálu. Vývoj technologie v této oblasti zinkování vedl ke zlepšení dekorativního vzhledu povlaků a snahy o použití komplexotvorných látek. [4]

3.1.3 Slabě kyselé lázně

Prvním kyselým elektrolytem průmyslově využívaným, který byl využíván pro kontinuální pokovení byl tvořen síranem nebo chloridem zinečnatým. Pokovení probíhalo při velmi nízké hloubkové účinnosti. Později byla vytvořena lázeň z chloridu nebo síranu zinečnatého a chloridu amonného. Problémy nastávaly při neutralizaci odpadních vod. Není možné míchat odpadní vody ze slabě kyselých lázní s amonnými ionty spolu s kyselými vodami obsahujícími nikl a měď, protože amonné ionty tvoří stabilní komplexy s niklem a mědí a pak projdou neutralizační stanicí. U nových typů lázní se vylučuje zinek ze slabých chlorkomplexů. Umožňují vytvářet kompaktní matné až pololesklé povlaky. Další skupiny organických přísad zde patří aromatické ketony, které dávají vysoký lesk a zobrazivost. Co se týče vlastností slabě kyselých lázní poskytují nejkvalitnější povlaky. Dosahuje se velkých vylučovacích rychlostí. Nehrozí nebezpečí vzniku vodíkové křehkosti pro nízký vývoj vodíku. Výhody této technologie jsou hloubková účinnost, provozní spolehlivost, dobrá oplachovatelnost. Nevýhody jsou větší náročnost na čistotu pokovovaného zboží a citlivost lázně. Opět nutnost míchání odpadních vod s vodami obsahujícími měď a nikl. Lázně jsou vhodné pro hromadné pokovení i pro závěsové pokovení. Slabě kyselé lázně jsou již nejrozšířenější technologií. [4]

3.1.4 Slitinové zinkovací lázně

Slitinové zinkovací elektrolyty mají dnes již nejvyšší význam díky své vyšší korozní odolnosti oproti čistému zinkovému povlaku. Systém leskutvorných přísad je odvozen od slabě kyselých nebo alkalických nekyanidových lázní. V praxi se používají slitiny Zn-Co s obsahem kobaltu 0,4-1%, Zn-Fe s obsahem železa 0,4-0,6% a Zn-Ni s obsahem niklu 9-14%. Výhodou slitinových lázní je vysoká korozní odolnost, tak i v konverzních úpravách.

Bakalářská práce

Slitinové povlaky po chromátování jsou velice korozně odolné i za vyšších teplot. Zn-Co povlaky jsou rezistentní v prostředích s chloridovými ionty. Lázeň Zn-Ni způsobuje navíc jen velmi malé navodíkování základního materiálu. Lázeň Zn-Fe má vysokou korozní odolnost a vzhledný černý dekorativní účinek. U ocelových pásů pro výrobu namáhaných částí automobilových karosérií se používají povlaky zinku s obsahem niklu 9-14%, železa 15-25%, manganu 40-50%. Další výhodou je lepší svařování oproti čistému zinku. Dále slitina zinku s obsahem železa 75-85% usnadňuje přípravu fosfátových konverzních úprav a výbornou přilnavost. Slitinový povlak a jeho výhody jsou vykoupěny komplikovanější a dražší technologií. Snížení mechanických vlastností jsou výsledkem úbytku čistého zinku. V praxi je aplikace slitinových lázní nízká. [4]

3.2 Konverzní úpravy zinkových povlaků

Zvýšení protikorozní odolnosti nebo zlepšení povrchu výrobku je použito při závěrečných úpravách fosfátováním nebo chromátováním. Do konverzní lázně se ponoří pokovený výrobek, kde se vytvoří konverzní povlak. [4]

3.2.1 Chromátování

Základní materiál je chráněn zinkovými povlaky před korozí vytvořením elektrochemického článku, kde zinek je korozní anodou a podléhá koroznímu napadení. Železo je korozní katodou. Neboli degraduje zinkový povlak. Dekorativní vzhled zinkového povlaku nelze zachovat trvale, lze jen oddálit korozí povlaku. Toto má zajistit operace chromátování. Konverzní chromátovací lázeň zlepšuje vzhled a snižuje riziko počátku korozního napadení povlaku. Existují různé přípravky, různé škály barev. Do přípravků se přidávají adsorpční barviva. Při chromátování reaguje zinkový povlak s chromátovací lázní a vytváří se vrstvička. Tato vrstva brání zinkový povlak před korozním napadením. Zvýšení pH a velký úbytek vodíkových iontů k němuž dochází při rozpouštění zinku, a vytváří se chromátová vrstva. Vrstva vytvořená chromátovací lázní je většinou tvořena basickými chromany zinku a chromu i jinými těžkými kovy. Tato vrstva je gelovitá a do jisté míry i pohyblivá. Tato vrstva je při vyšších teplotách nad 60°C náchylná k praskání a tím se naruší korozní odolnost. Zvýšená korozní odolnost je způsobená legurou na slitinových povlacích Zn-Co, Zn-Fe a Zn-Ni a to i za zvýšených

Bakalářská práce

teplot. Nově vytvořená vrstvička z chromátovací lázně obsahuje vodu a je velmi snadno poškoditelná. Odolnost proti mechanickému namáhání získá po vysušení. Vyjasnění se používá pro rozpuštění korozních produktů a projeví se tím, že zesvětlí a sjednotí povrch zinku. [4]

3.2.2 Fosfátování

Pro zvýšení přilnavosti organických nátěrových systémů se provádí fosfátování povlaků. Jedná se o způsob úpravy některých kovů, kde se na povrchu tvoří souvislá krystalická vrstva nerozpustných fosforečnanů. Přípravky se používají na bázi kyselého fosforečnanu zinečnatého, zinečnato-vápenatého a manganatého. Vrstva je porézní a nepoužívá se jako konečná úprava, ale jako podklad pod nátěry. Vrstvy jsou šedé. Podle složení dělíme přípravky na bázi fosforečnanu železnatého (Walterizace), na bázi fosforečnanu zinečnatého (bonderizace), na bázi fosforečnanu manganatého (parkerizace). Dále je rozdělujeme podle pracovní teploty na přípravky pracující za studena, pracují při teplotě 20-30°C. Potřeba dokonale očištěného povrchu. Na jakosti fosfátové vrstvy je velice závislá příprava povrchu. Zhrublý povrch má za následek tvorbu hrubé krystalické vrstvy. Dokonalost odmaštění. Dále záleží na chemickém složení ocele. Fosfátování používáme na ochranu proti korozi, na úpravu povrchu před nanesením organických povlaků, na přípravu povrchu před tvářením a ke zlepšení zabíhání pohybujících součástí. [4], [3]

3.3 Galvanická lázeň Zn-Ni

Nádrž na slitinovou lázeň Zn-Ni je z oceli s pogumováním odolným proti alkáliím nebo vyložení z Korosealu, polypropylenu nebo PVC. Chladit je potřeba pro dodržení pokojové teploty. Topná tělesa se používají z titanu. Jedenkrát objem lázně za zhruba 60 minut přes přídavnou rozpouštěcí nádrž. Drsnost filtru je kolem 10 µm. Filtrační materiál je odolný proti alkáliím. Periodická filtrace je doporučena přes aktivní uhlí. Cirkulace bez filtrační jednotky se používají dvakrát až třikrát do objemu lázně přes hodinu. Anod se používá niklových nebo poniklovaných z ocelového plechu. Existuje různý poměr anody ke katodě. [5]

Dále používáme usměrňovače mezi 12 až 17V pro hromadné zboží. Pro závěsové zboží používáme 10 až 14V. Pomalý pohyb katody. Žádné provzdušňování. Doporučuje se

použití eduktorů v cirkulaci, je nutno vyvarovat se přímému proudění elektrolytu na zboží. Při dostačující cirkulaci lázně není pohyb katody naléhavě nutný. [5]

3.4 Galvanická lázeň Zn-Fe

Nádrž se používá z ocelového plechu s gumovým vyložení, PVC, polyetylen, polypropylen. Odsávání je nutné. Pohyb zboží a elektrolytu probíhá mechanicky do 3m za minutu. Buben se otáčí do 10 otáček za minutu. Doporučuje se použít anody z ocelového plechu. Poměr ploch anod a katod nesmí překročit určitou mez. Rozpouštění zinku se provádí chemicky v externí rozpouštěcí nádrži. Filtrace je opět nutností. Zhruba do 3 objemů lázně přes hodinu. Filtrační jemnost je do 30 μm . Pro ohřev/chlazení se používá plávková ocel, grafit, titan. Doporučené zatížení lázně je do 0,1 A/l. [6]

3.5 Vlastnosti povlaků

Z hlediska struktury a vlastností se galvanicky vyloučené kovy a slitiny značně odlišují od konvenčních technologií připravovaných metalurgickými postupy například odléváním nebo tvářením. Z hlediska termodynamiky díky vlivu entropie a funkce odvozené jsou zcela odlišné. I ostatní parametry elektrostatické, magnetické nebo adsorpce látek hrají důležitou roli ve struktuře a vlastnostech materiálu. Z tohoto vyplývají výhody galvanotechniky. Díky ošetření povrchu působením galvanického pokovení dostává materiál lepší mechanické nebo i vzhledové vlastnosti. Často o povlaku rozhoduje jeho struktura. A to je příčina lepších vlastností materiálu. Především má vliv na strukturu rychlost růstu. Prvním stupněm vylučování dochází k tzv. epitaxiálnímu růstu. Dochází ke změně krystalografické struktury. Zachování epitaxiálního růstu závisí na rychlosti vylučování. Postupuje-li vrstvička pomalu lze ji spatřit optickou mikroskopií. Je-li rychlost vylučování vyšší přestává epitaxiální růst rychleji. Příčina odlišnosti galvanicky vylučovaných kovů od kovů připravených konvenčními metodami jsou přísady. Fyzikální analytické metody nám pomohly vyřešit otázku čistoty vyloučeného kovu. Teď už víme, že v povlaku se nachází nekovové prvky jako kyslík, uhlík, síra a vodík. Především vodík je pro nás prvek, který musíme v povlaku minimalizovat. Ale především co přísady nejvíce ovlivňují jsou mechanické vlastnosti materiálu a také vnitřní pnutí. Velikosti galvanických zrn jsou v rozmezí desítek až stovek nm. Kovy vylučované katodicky jsou

Bakalářská práce

charakterizovány vnitřním pnutím. Je způsobeno důsledkem mřížkových poruch a jejich deformací. Hlavním původcem jsou chemické změny látek. Zvláštní postavení mezi původci napjatosti má vodík. Vodík se vylučuje při každém procesu galvanizace. Vodík ovlivňuje především mechanické vlastnosti. Tento jev nazýváme vodíková křehkost. A její riziko se zvyšuje s rostoucí pevností oceli. Vodíku se lze zbavit ohřevem materiálu. Dalším činitelem vnitřních pnutí je gradient pH v katodickém difúzním filmu. Nastává ubývání iontů u povrchu katody a zvyšuje se hodnota pH, jejímž důsledkem je, že se začnou málo srážet rozpustné hydroxidy kationů. Vnitřní pnutí lze kategoricky rozdělit na skupiny. První skupina se projevuje v makroskopickém měřítku, druhá skupina, do které zahrnujeme oblasti krystalů a zrn, třetí skupina na úrovni atomových skupin. Všechny tyto vyjmenované druhy lze měřit exaktními metodami. Vnitřním pnutím nikdy nebyla věnována větší pozornost. Svůj význam mají makropnutí, záleží jen podle toho jak silnou vrstvu chceme galvanicky vyloučit. Makropnutí mohou mnohdy dosahovat za meze pevnosti vyloučeného kovu, takže dojde k trvalému poškození vrstvy. Jestliže jsou pnutí omezena na minimum, dochází k drobným deformacím. Také nesmíme opomenout, že pnutí má vliv i na korozní odolnost. Dále také mají nežádoucí vliv na přilnavost vrstvy k podkladu. Další co bychom mohli považovat za důležité vzhledem k vyloučení povlaku jsou mechanické vlastnosti a to především pevnost v tahu neboli tažnost. Zjišťujeme závislost mezi tvrdostí pevností v tahu. Čili se vzrůstající tvrdostí roste pevnost v tahu a naopak. Materiály vhodné pro galvanizaci můžeme rozdělit do 3 skupin. Do nejměkčích řadíme cín a olovo, do průměrné třídy patří zinek a stříbro, poslední skupina tady můžeme nalézt kovy jako železo nebo chrom. V případě zvýšení teploty galvanicky pokoveného povrchu ztrácíme tvrdost materiálu. Hlavním činitelem je síra. Tento jev nazýváme sírovou křehkostí. Magnetické vlastnosti jsou zatím předmětem výzkumu. Vliv na tuto vlastnost mají především parametry během vylučování a to teplota a hodnota pH. Ve vyloučených kovech se snažíme předejít přítomnosti vody, což jsou prvky vodík a kyslík. Dalšími prvky, které můžeme zařadit jsou halogenidy. Jsou to fluor, chlor, brom a jod. Jejich výskyt v elektrolytu u skupin železa hraje důležitou roli v procesu zinkování, mědění apod. Důsledkem nižší korozní odolnosti jsou především chloridy vnesené ve vyloučené vrstvě. Mezi další charakteristiky vlastností galvanických povlaků patří nerovnoměrnost. Katodická proudová hustota je závislá na rozložení elektrostatického pole, tvaru a poloze anod. Obecně můžeme říci, že na hrotech a hranách je intenzita proudu vyšší. V otvorech a zahloubení nižší. Tloušťku povlaku ovlivňuje rovněž transport neboli intenzita proudění. Měříme intenzitu pomocí sond a hlavně zkušeností. Byly navrženy různé postupy, ke stanovení hloubkového účinku. [7]

Experimentální část

4 Návrh prováděných zkoušek a metodiky zkoušení

4.1 Návrh metodiky zkoušení

4.1.1 Zkušební vzorky a druhy povlaků

Vzorky jsou vyrobeny z 3 mm tenkého ocelového plechu válcovaného třídy 11 320 o rozměrech 100 mm x 30 mm s otvorem pro zavěšení. Pro ověřování mechanických a fyzikálních vlastností jsem volil 3 druhy slitinových zinkových povlaků Zn-Fe, Zn-Ni a Zn-Ni transparentní. Od každého druhu 1 vzorek. Vzorky jak sem již zmínil byly pokoveny ve firmě MEP Galvanovna, a. s., která provádí závěsové zinkování a další galvanické úpravy.



Obr. 3 Dodaný stav Zn-Ni



Obr. 4 Dodaný stav Zn-Fe



Obr. 5 Dodaný stav Zn-Ni transparentní

4.1.2 Specifikace přípravy vzorků

Vzorky byly dokumentovány v dodaném stavu na digi. fotoaparátu Olympus C7070 (Obr.3-5). Příprava metalografického výbrusu proběhlo na vybavení firmy Struers. Dále vzorky se řezaly v příčném řezu a se zalévaly do vodivého bakelitu do přípravku ConduFast při teplotě 180°C a tlaku 20kN, broušení probíhalo na poloautomatu Tegrapol-35 a leštění. Zkoušky opotřebení na vybavení kulotestr a dokumentace mikrostruktury na přístroji Neophot 21 – optika Carl-Zeiss (optický světelný mikroskop).

Vzorek Zn-Fe

- označení podle ČSN EN 10204-3.1: elektrolytický vyloučený povlak
- pokovení v slabě kyselé lázni s předpokládanou průměrnou tloušťkou větší než 30 μm
- pokovení dle norem VW13750 TL 153-R302

Vzorek Zn-Ni

- označení podle ČSN EN 10204-3.1: elektrolytický vyloučený povlak
- pokovení v slabě kyselé lázni s předpokládanou průměrnou tloušťkou větší než 15 μm
- pokovení dle norem VW13750 TL 244-R673

Vzorek Zn-Ni transparentní

- označení podle ČSN EN 10204-3.1: elektrolytický vyloučený povlak
- pokovení v slabě kyselé lázni s předpokládanou průměrnou tloušťkou větší než 30 μm
- pokovení dle norem VW13750 TL 244-R643

Korozní odolnost hodnocených systémů v podmínkách zkoušky v solné mlze dle ČSN EN ISO 9227 dle normy DIN EN ISO 9227 platné od roku 2006 uvádí tab. 1:

	Korozní odolnost v h	
	Materiál z bubnu	Materiál z regálu
vzorek R302	144	240
vzorek R673	144	144
vzorek R643	144	144

Tab. 1 Korozní odolnost hodnocených vzorků

4.1.3 Technologický postup slitinových zinkových povlaků

obecný technologický postup pro vzorek R302, R673 a R643 [8]

čís. op.	jednotlivé operace
1.	vstupní kontrola
2.	navěšení na závěs
3.	zadání programu
4.	chemické odmaštění
5.	moření
6.	elektrolytické odmaštění
7.	dekapování
8.	oplach s NaOH
9.	zinkování
10.	aktivace
11.	pasivace bez obsahu Cr^{6+}
12.	pečetění
13.	ofuk
14.	sušení
15.	svěšení ze závěsu
16.	výstupní kontrola
17.	balení
18.	skladování

Tab. 2 Obecný technologický postup pro povlakování vzorků

4.1.4 Charakteristika přístroje pro zkoušku odolnosti proti opotřebení

Pro porovnání odolnosti proti abrazivnímu opotřebení povlakových systémů jsem použil laboratorní přístroj kulotestr umístěný na katedře mechanické technologie.



Obr. 6 Přístroj kulotestr ke zjišťování odolnosti proti opotřebení



Obr. 7 Detail umístění vzorku na přístroji

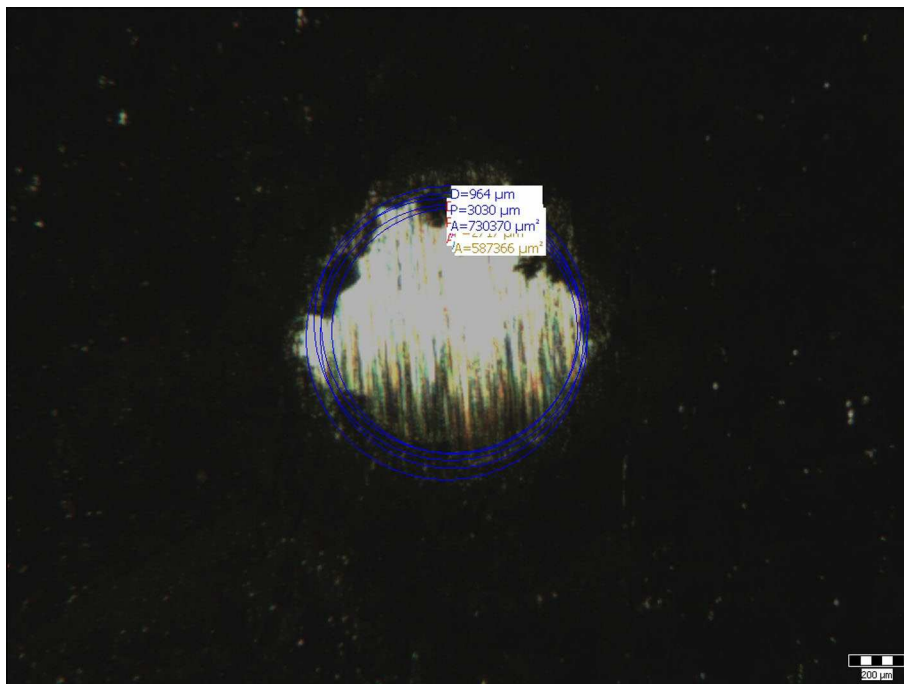
Bakalářská práce

Přístroj je určen k měření tloušťky tenkých vrstev a k simulaci abrazivního opotřebení. Tloušťka povlaku se stanoví provedením kalotestu – metalografického výbrusu povlaku a podpovrchové vrstvy základního materiálu otáčející kuličkou. Dochází k vybroušení kulového vrchlíku, který se z pohledu shora jeví jako mezikružší. Vybroušený kulový vrchlík označujeme jako kalotu. Ze znalosti průměru kuličky a mikroskopicky změřených průměrů lze stanovit tloušťku vrstev. K měření jsme použili kuličku o průměru 30 mm. Obvykle se na kuličku nanáší také brusná pasta. Kulička je volně položena mezi drážku unášecího válce a vzorek. Součástí přístroje je elektronický modul umožňující snímání a nastavení počtu otáček unášecího válce.

Další skutečnosti o použití tohoto přístroje:

- odvalování koule po ploše povlaku je jeden z reálných způsobů opotřebování součástí (kluzná ložiska, čepy, hřídele)
- přístroj umožňuje přesné nastavení kluzné dráhy
- přítlačná síla kuličky k povlaku je vůči měření konstantní
- objemový otěr jako běžné kritérium opotřebení lze ztotožnit s rozměry kulového vrchlíku nebo jeho výškou
- průměr a hloubku měříme na metalografickém mikroskopu

4.1.5 Zkouška odolnosti proti abrazivnímu opotřebení



Obr. 8 Snímek pořízený z optického přístroje Nephot 21 a s ukázkou vyhodnocování v programu QuickPhoto Industrial 2.2

K posouzení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení jsem použil principu odvalování kulové plochy po povrchu povlaku. Vzorky byly vystaveny řadě cyklů kluzným třením s postupně zvyšujícím se počtem otáček unášecího válce. Počet oběhů kuličky jsem volil až od 2000, jelikož pod nižšími otáčkami nebylo vidět znatelné poškození povlaku, ale nesmí dojít k proniknutí až k základnímu materiálu, další otáčky 4000, 6000, 8000, 10000, 20000, 50000. Dále když jsme pronikli až na základní materiál ukončili jsme měření, jelikož by to ovlivnilo výsledek měření.

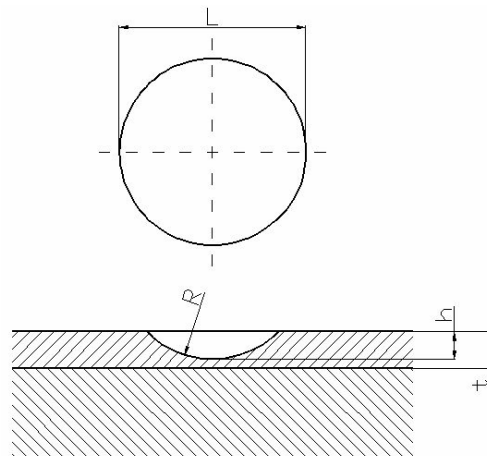
Vzorky i kuličku jsem před každým cyklem odvalování odmastil organickým rozpouštědlem. Vzorky jsem umístil do přípravku tak, aby zachovávaly vůči kuličce stejnou vzdálenost. Změna vzdálenosti by měla za následek také změnu přitlačné síly.

Průměr každé vzniklé kaloty jsem před následnou korozní zkouškou změřil na metalografickém mikroskopu. Z tohoto se vypočítala průměrná hloubka opotřebení povlaku.

Pro porovnání odolnosti proti opotřebení hodnocených povlakových systémů jsem vybral nejvyšší společný počet oběhů kuličky, při kterém došlo k jejímu proniknutí k základnímu materiálu.

Vztah pro výpočet hloubky kaloty jsem odvodil ze vztahu pro výpočet délky tětivy kruhového oblouku: [9]

$$h = \frac{2 * R - \sqrt{(4 * R^2 - L^2)}}{2} \quad (13)$$



Obr. 9 Řez kulovým vrchlíkem

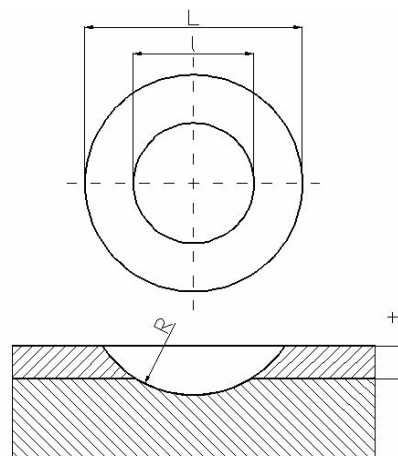
-parametry zkoušky:

1. průměr kuličky 30 mm
2. materiál kuličky: ložisková ocel ČSN 14 109 (100Cr6), tvrdost (60-66)HRC
3. vzdálenost plochy vzorku od osy unášecího válce 50 mm

4.1.6 Stanovení tloušťky povlaku

Kaloty, u nichž došlo k proniknutí kuličky k základnímu materiálu, jsem použil k výpočtu průměrné tloušťky povlaku. Tloušťku jsem vypočítal ze vzniklého mezikruží podle vztahu: [9]

$$t = \left| \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}} \right| \quad (14)$$



Obr. 10 Princip metody kulového výbrusu

4.1.7 Zkouška korozní odolnosti

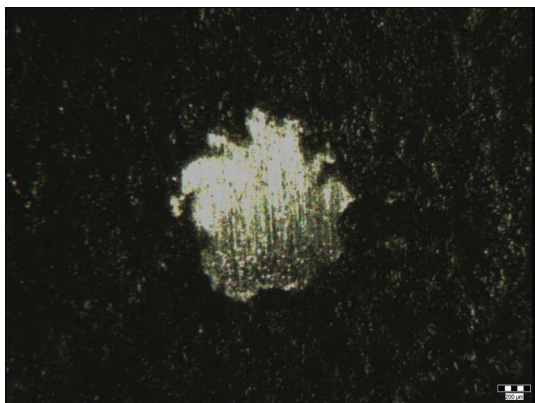
Zkouškou korozní odolnosti v solné mlze jsem hodnotil výskyt korozních produktů v místech poškození v závislosti na míře poškození a druhu povlakového systému. Pro hodnocení jsem zvolil metodu zkoušky v neutrální solné mlze dle ČSN ISO 9227, při které je vzorek vystaven rozprašování neutrálního roztoku chloridu sodného. Zkouška proběhla v solné komoře typu S-KB 400 A TR firmy LIEBISCH umístěné na katedře materiálového inženýrství FMMI-TU Ostrava.

Režim zkoušky, příprava roztoku a příprava komory jsou uvedeny v normě ČSN ISO 9227. Průběžnou kontrolu vzorků a komory jsem prováděl každých 24 hodin. Z komory jsem odsál solnou mlhu a zkontroloval hodnotu pH a spad mlhy v kontrolních válcích, který by měl být v obou stejný.

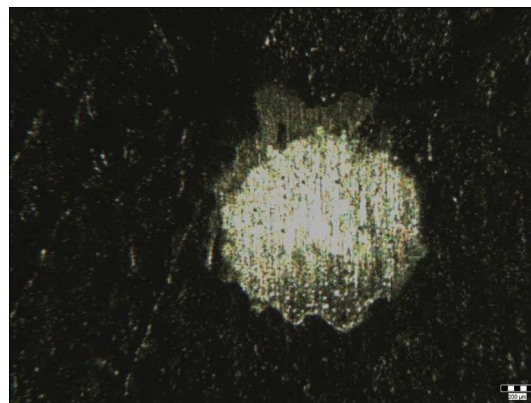
4.2 Výsledky experimentu

4.2.1 Odolnost proti opotřebení

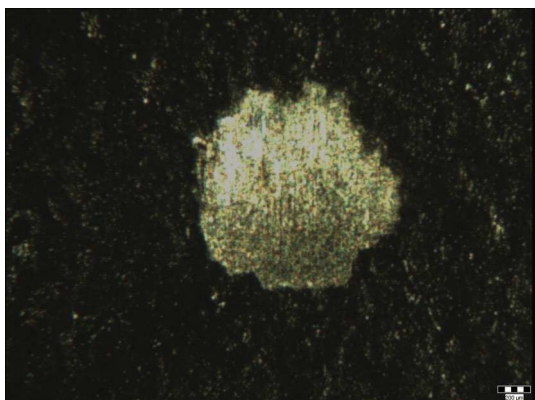
Zjištěné průměrné hodnoty hloubky opotřebení způsobené odvalováním kuličky po povlaku je vidět na následujících fotografiích.



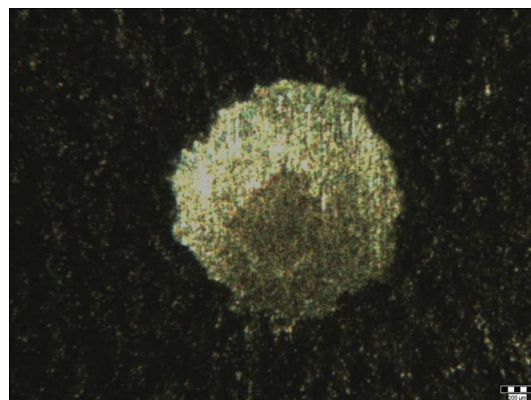
Obr. 11 500 otáček (20x)



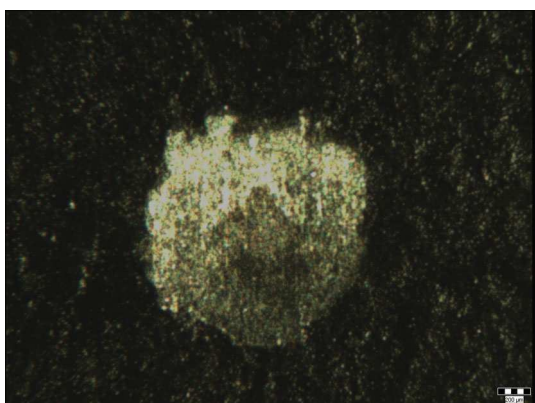
Obr. 12 1000 otáček (20x)



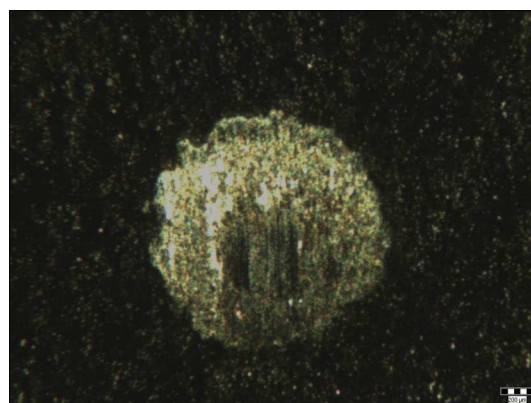
Obr. 13 2000 otáček (20x)



Obr. 14 4000 otáček (20x)

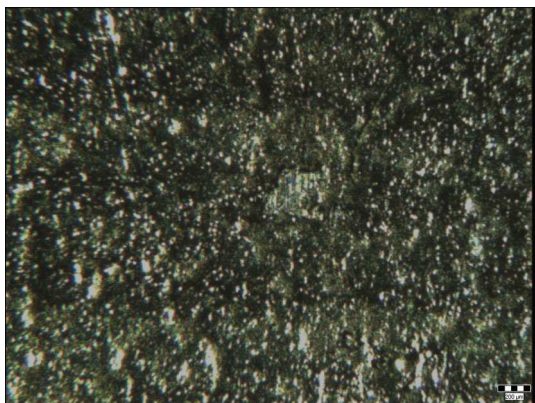


Obr. 15 6000 otáček (20x)

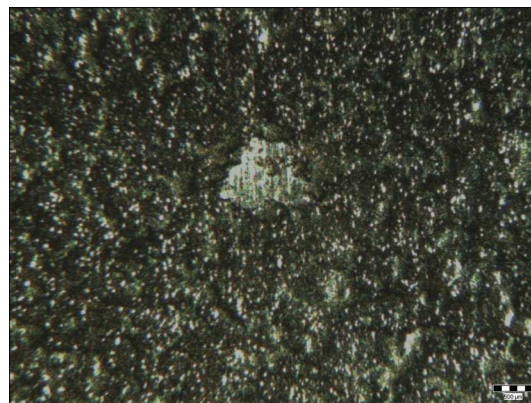


Obr. 16 8000 otáček (20x)

Obr. 10-15 Fotodokumentace vzhledu opotřebení a jeho hloubky po určitém počtu otáček u vzorku R302



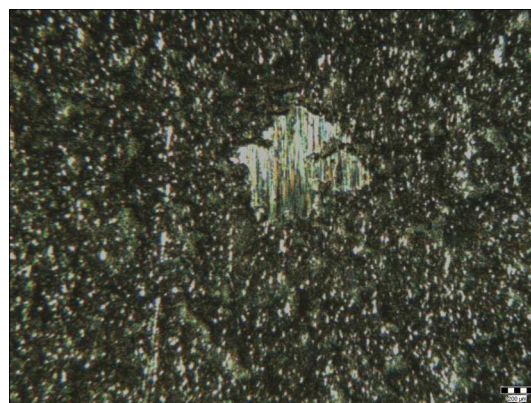
Obr. 17 2000 otáček (20x)



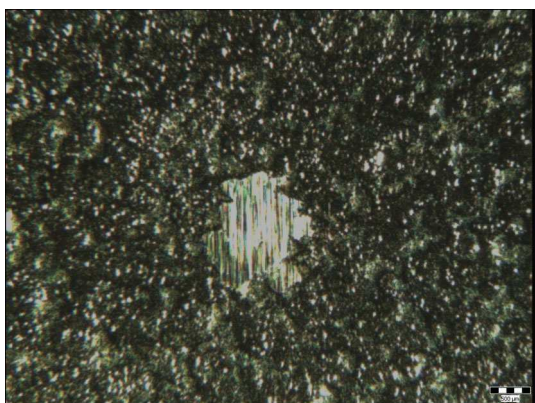
Obr. 18 4000 otáček (20x)



Obr. 19 6000 otáček (20x)



Obr. 20 8000 otáček (20x)



Obr. 21 10000 otáček (20x)

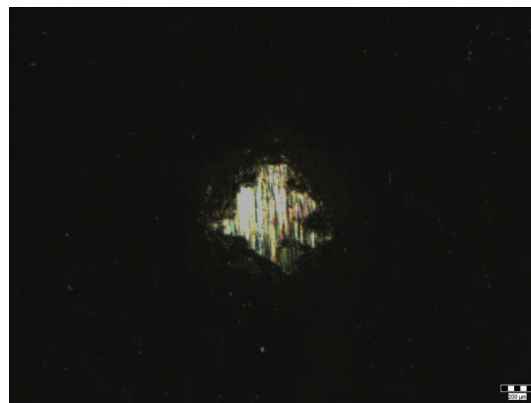


Obr. 22 20000 otáček (20x)

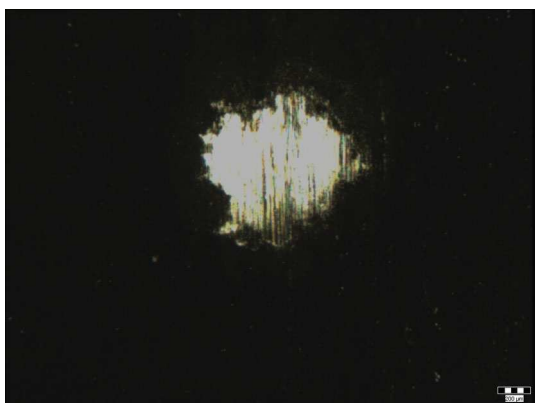
Obr. 16-21 Fotodokumentace vzhledu opotřebení a jeho hloubky po určitém počtu otáček u vzorku R643



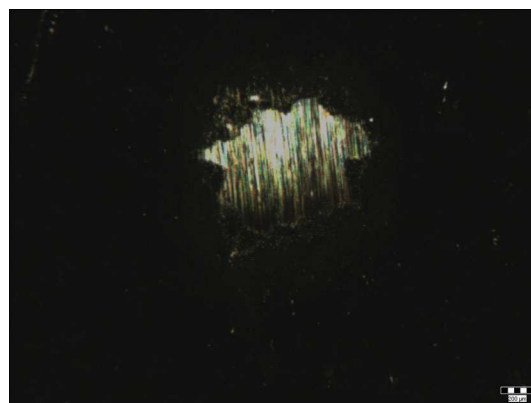
Obr. 23 2000 otáček 20x



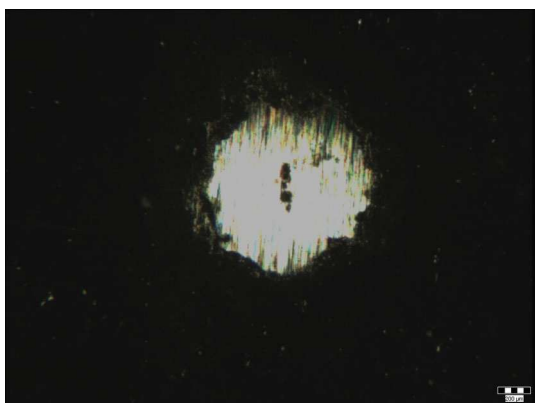
Obr. 24 4000 otáček (20x)



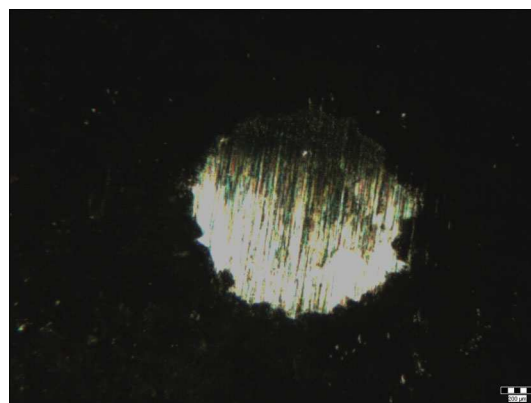
Obr. 25 6000 otáček (20x)



Obr. 26 8000 otáček (20x)



Obr. 27 10000 otáček (20x)



Obr. 28 20000 otáček (20x)

Obr.22-27 Fotodokumentace vzhledu opotřebení a jeho hloubky po určitém počtu otáček u vzorku R673

Zjištěné průměrné hodnoty hloubky opotřebení způsobené odvalováním kuličky po povlaku jsou uvedeny v následujících tabulkách

Vzorek R302			
počet oběhů kuličky N [-]	průměr kuličky [mm]	střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]
8000	30	1418,7	8,39
6000	30	1410,3	8,29
4000	30	1358,7	7,69
2000	30	1213	6,13
1000	30	1182	5,82
500	30	1039	4,50

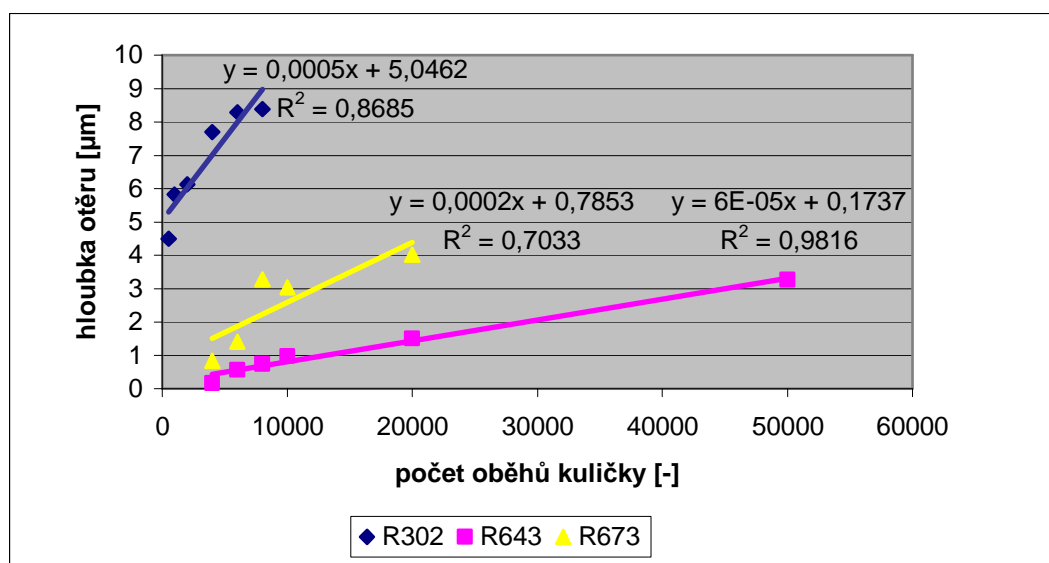
Tab. 3 Přehled opotřebení

Vzorek R643			
počet oběhů kuličky N [-]	průměr kuličky [mm]	střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]
50000	30	884	3,26
20000	30	602,3	1,51
10000	30	483	0,97
8000	30	420	0,74
6000	30	365,3	0,56
4000	30	194,3	0,16

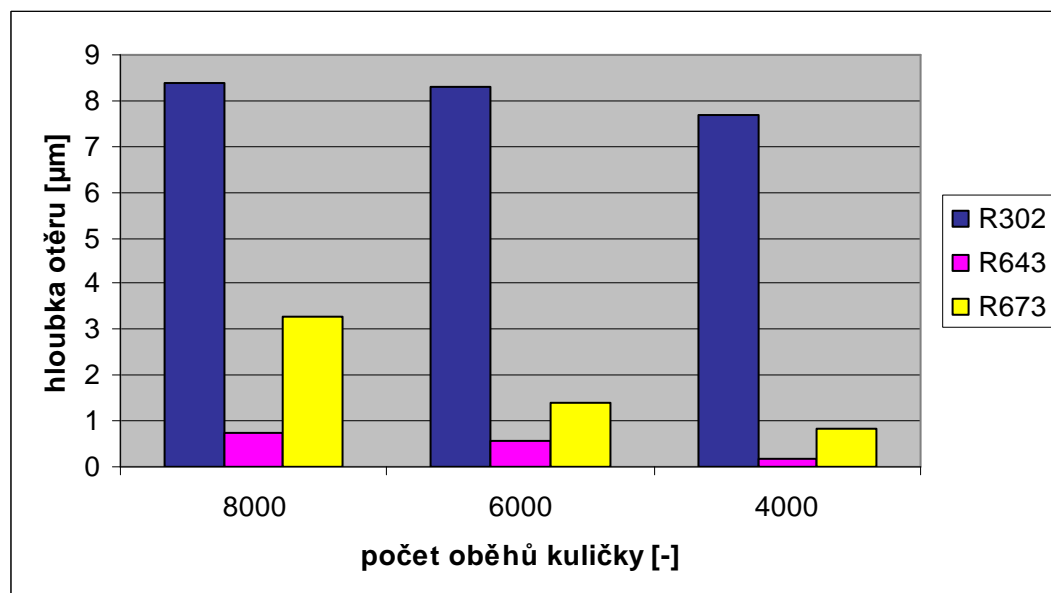
Tab. 4 Přehled opotřebení

Vzorek R673			
počet oběhů kuličky N [-]	průměr kuličky [mm]	střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]
20000	30	981	4,01
10000	30	854,3	3,04
8000	30	887,3	3,28
6000	30	582,7	1,41
4000	30	445,7	0,83

Tab. 5 Přehled opotřebení



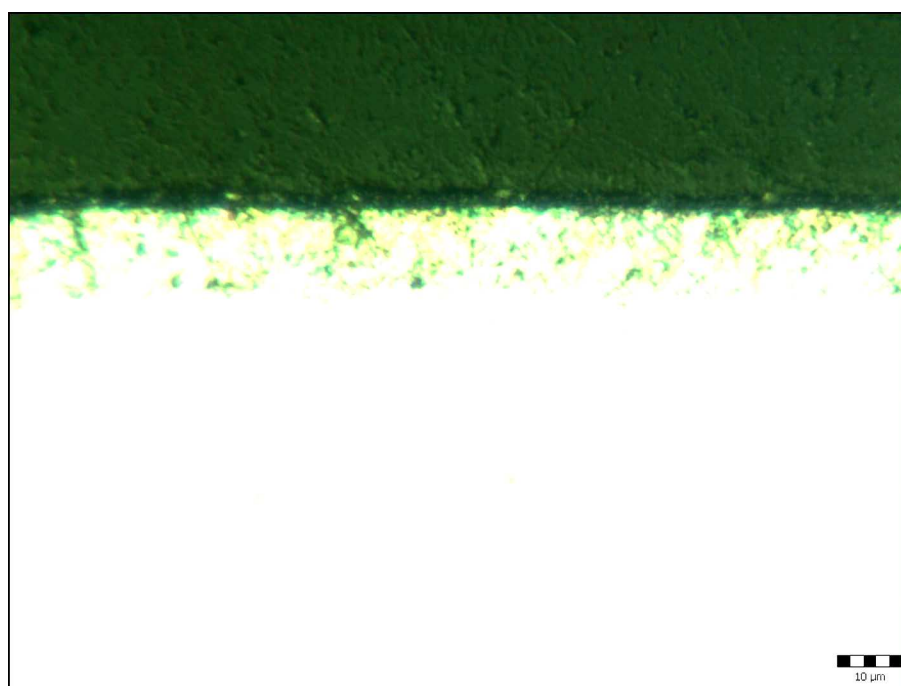
Obr. 29 Aproximace naměřených hodnot hloubky opotřebení v závislosti na počtu oběhů kuličky



Obr. 30 Závislost hloubky opotřebení na počtu oběhů kuličky znázorněná v sloupcovém grafu

4.2.2 Tloušťka povlaku

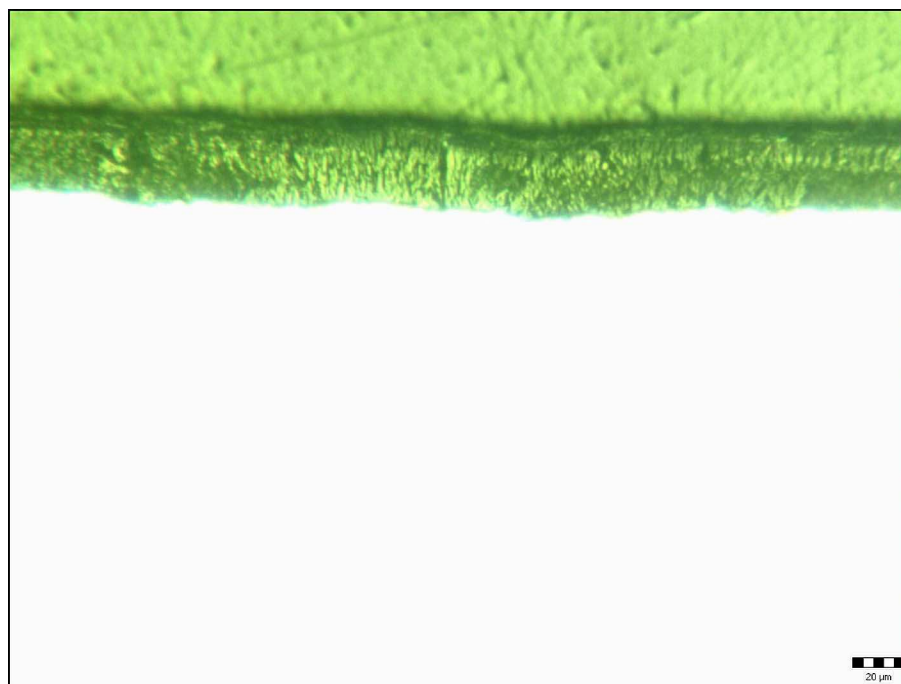
Originály protokolu měření jsou uloženy v příloze této práce.



Obr. 31 Tloušťka povlaku na vzorku R673 (500x)

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	5	12	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	6	13	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	7	13	μm	Střední hodnota	12,3	μm
Úsečka	Délka	8	11	μm	Sm. odchylka	0,6	μm
Úsečka	Délka	9	12	μm			
Úsečka	Délka	10	12	μm			
Úsečka	Délka	11	13	μm			
Úsečka	Délka	12	12	μm			
Úsečka	Délka	13	12	μm			
Úsečka	Délka	14	13	μm			

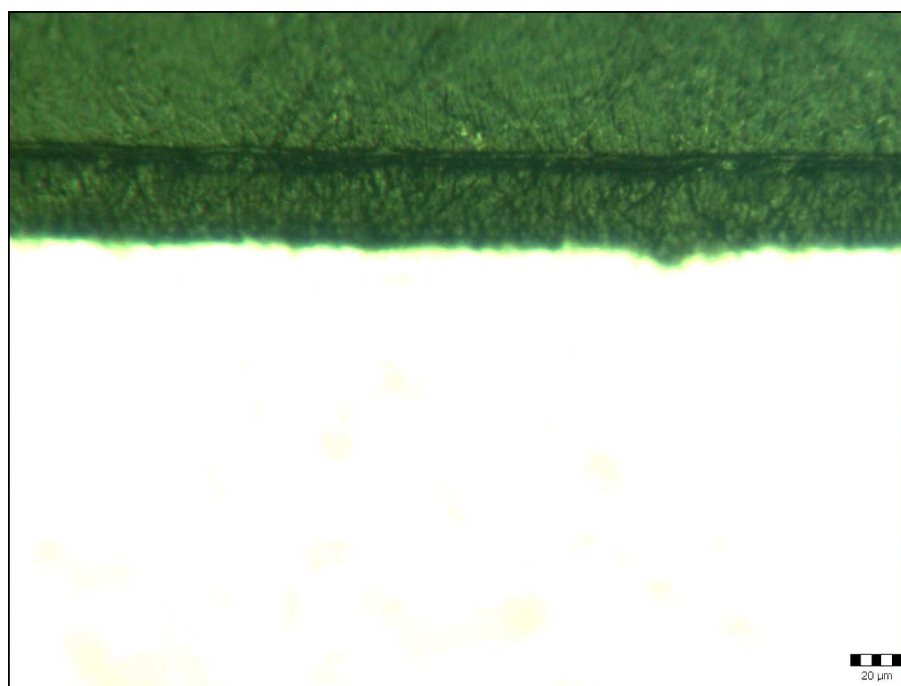
Tab. 6 Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro vzorek R673



Obr. 32 Tloušťka povlaku na vzorku R643 (500x)

Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	29	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	29	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	29	μm	Střední hodnota	30	μm
Úsečka	Délka	4	30	μm	Sm. odchylka	0,9	μm
Úsečka	Délka	5	32	μm			
Úsečka	Délka	6	30	μm			
Úsečka	Délka	7	31	μm			
Úsečka	Délka	8	30	μm			
Úsečka	Délka	9	30	μm			
Úsečka	Délka	10	30	μm			

Tab. 7 Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro vzorek R643



Obr. 33 Tloušťka povlaku na vzorku R302 (500x)

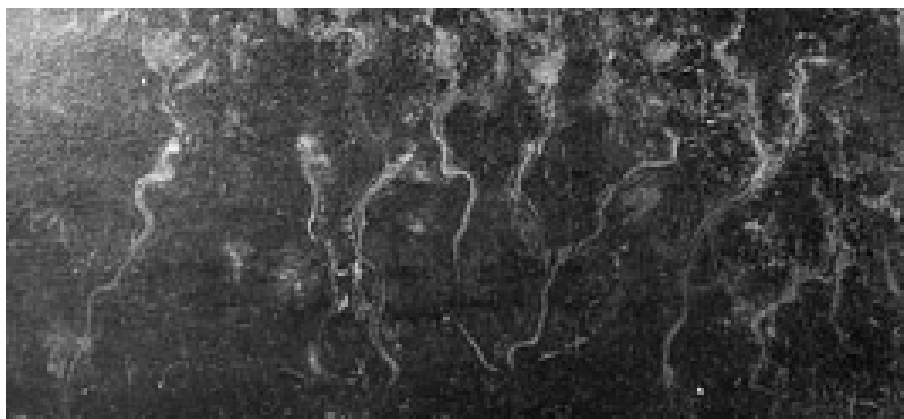
Typ objektu	Druh měření	Číslo měření	Hodnota	Jednotky	Statistiky		
Úsečka	Délka	1	37	μm	Veličina	Délka	
Úsečka	Délka	2	35	μm	Počet měření	10	
Úsečka	Délka	3	34	μm	Střední hodnota	34,1	μm
Úsečka	Délka	4	34	μm	Sm. odchylka	1,1	μm
Úsečka	Délka	5	33	μm			
Úsečka	Délka	6	33	μm			
Úsečka	Délka	7	33	μm			
Úsečka	Délka	8	34	μm			
Úsečka	Délka	9	34	μm			
Úsečka	Délka	10	34	μm			

Tab. 8 Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro vzorek R302

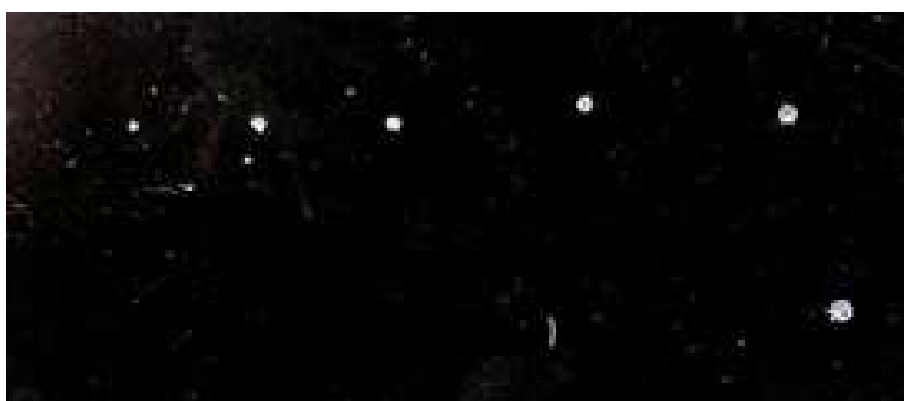
4.2.3 Korozní odolnost v solné mlze



Obr. 34 Vzorek R302 po 240 hodinách



Obr. 35 Vzorek R643 po 240 hodinách



Obr. 36 Vzorek R673 po 240 hodinách



Obr. 37 Vzorek R302 po 720 hodinách



Obr. 38 Vzorek R643 po 720 hodinách



Obr. 39 Vzorek R673 po 720 hodinách

Bakalářská práce

Tabulka hmotností dodaného stavu a hmotnostního nárůstu. Rozdíl mezi těmito hmotnostmi se nazývají korozní činitelé.

		hmotnost [g]		
R302	číslo měř.	před solným testem	po solném testu	korozní činitel
	1.	56,1063	56,1150	0,0087
	2.	56,1060	56,1149	0,0089
	3.	56,1060	56,1152	0,0092
	4.	56,1062	56,1152	0,0090
	5.	56,1061	56,1151	0,0090
R643	číslo měř.	před solným testem	po solném testu	korozní činitel
	1.	57,9763	57,9848	0,0085
	2.	57,9765	57,9844	0,0079
	3.	57,9762	57,9842	0,0080
	4.	57,9764	57,9845	0,0081
	5.	57,9762	57,9847	0,0085
R673	číslo měř.	před solným testem	po solném testu	korozní činitel
	1.	58,2795	58,2825	0,0030
	2.	58,2794	58,2830	0,0036
	3.	58,2793	58,2828	0,0035
	4.	58,2792	58,2829	0,0037
	5.	58,2794	58,2827	0,0033

Tab. 9 Hmotnostní nárůstky při zkoušce koroze v solné komoře

5 Vyhodnocování výsledků a závěr

U zkoušky odolnosti proti opotřebení nejlépe dopadl vzorek R643 neboli Zn-Ni transparentní. Jako nejhorší testovaný vzorek dopadl Zn-Fe neboli R302, který jen při 500 otáčkách dosahoval hloubky otěru přes 4 μm , této hodnoty R643 a R673 dosahovali až při 20000 otáčkách. Dále kdybychom pokračovali v testování přes 10000 otáček, dostali bychom se až na základní materiál. U této zkoušky jsme si tedy ověřili, že Ni je skutečně odolný vůči abrazi oproti Fe.

Z vyhodnocování tloušťek slitinových Zn povlaků, které se provádělo na optickém mikroskopu Neophot 21, vyplývá, že výsledky jsou přibližně stejné s výsledky, které poskytla firma MEP Galvanovna, a. s., viz. příloha.

U zkoušky v solné mlze se nejlépe osvědčil vzorek R673 Zn-Ni. Kdy i po 720 hodinách byly vidět jen opravdu nepatrné změny na pokoveném povrchu. Je to vidět jak na přiložených fotografiích, tak i v tabulce ze spočtených korozních činitelů. Ostatní 2 měřené vzorky R302, R643 u těchto dvou vzorků bylo po 720 hodinách vidět typické křídovatění.

6 Seznam použité literatury

- [1] Historie [online]. < <http://www.mep.cz/historie.htm> >.
- [2] Provoz galvanovna [online].< <http://www.mep.cz/galvanovna.htm> >.
- [3] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vydání. 2006. ISBN 80-248-1217-7
- [4] SZELAG, P., TAITLOVÁ, J., ŠULC, J., KRISTOFORY, F. *Kurz galvanizérů 2*. Ostrava. 2001
- [5] EISENBERG. Konzernnorm Volkswagen AG. 2007
- [6] HASSE. Konzernnorm Volkswagen AG. 2003
- [7] CYRUS, Z., CHOCHOLOUŠEK, J., KRISTOFORY, F., VÍTEK J. *Kurz galvanizérů 1*. Ostrava. 2000
- [8] CHRASTINOVÁ, A.
- [9] BETIUK, M., WACH, P., MICHALSKI, J., *Measurement of thickness of nitrided layer by using kulotester*, Institute of Precision Mechanics, Warsaw

7 Seznam příloh

[A] Originál protokolu o měření tloušťky povlaku vzorku R302

[B] Originál protokolu o měření tloušťky povlaku vzorku R673